نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۹۸-۸۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 83-98

ارزیابی خصوصیات ریشه و عملکرد دانه ارقام گندم تحت تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط دیم

رحیم ناصری[1]*، مهرشاد براری[1]، محمدجواد زارع[1]، کاظم خاوازی[2]، زهرا طهماسبی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تلقیح با باکتری *سودوموناس* و قارچ میکوریزا بر سیستم ریشه‌دهی و عملکرد دانه ارقام گندم در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مزرعه در دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و تیمار منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱- شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲- ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۳- باکتری *سودوموناس پوتیدا*، ۴- قارچ *گلوموس موسه آ*، ۵- باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه آ*، ۶- باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۷- باکتری *سودوموناس پوتیدا*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۸- قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش رقم×منابع کودی بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و همچنین خصوصیات ریشه‌ای گندم دیم معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیشترین تعداد سنبله در مترمربع (افزایش ۱۶/۷ درصدی)، تعداد دانه در سنبله (افزایش ۶۷/۲ درصدی)، وزن هزار دانه (افزایش ۱۹/۳ درصدی)، عملکرد دانه (افزایش ۷۲ درصدی)، عملکرد زیست‌توده (افزایش ۵۷ درصدی)، حجم ریشه (افزایش ۵۳/۶ درصدی)، سطح ریشه (افزایش ۶۹/۳ درصدی)، تراکم طول ریشه (افزایش ۷۶/۵ درصدی) و چگالی سطح ریشه (افزایش ۶۹ درصدی) در رقم ساجی× قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط کشت گندم دیم در ایلام که گیاه با تنش‌های آخر فصلی (خشکی و دما) مواجه می‌گردد، گندم دوروم دیم رقم ساجی و تلقیح با قارچ میکوریزا به دلیل بهبود سیستم ریشه‌دهی در شرایط دیم نتیجه مطلوب‌تری از خود نشان داده و موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: حجم ریشه، سطح ریشه، سیستم ریشه، عملکرد دانه، منابع کودی

مقدمه

سطح زیر کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) در ایران حدود ۶ میلیون هکتار برآورده شده است که ۳/۸ میلیون هکتار آن کشت دیم می‌باشدکه معادل تقریباً ۶۵ درصد می‌باشد، متوسط عملکرد گندم دیم در ایران ۹۲۰ کیلوگرم در هکتار است (Ministry of Agriculture- Jahad, 2016). با توجه به این که عملکرد گندم دیم در ایران بسیار پایین بوده و سطح قابل توجهی از مناطق تحت کشت گندم ایران را دیم‌زارها تشکیل می‌دهند، بنابراین بررسی راهکارهای لازم برای افزایش میزان محصول در واحد سطح ضرورت دارد (Khosravi and Mahmoudi, 2013).

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد، گروه ویژه‌ای از میکروارگانیسم‌های خاک هستند که با کلونیزاسیون در محیط ریشه باعث افزایش رشد و کارآیی گیاه از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیر مستقیم می‌شوند (Naseri *et al*., 2017a). باکتری‌های جنس *سودوموناس* از جمله مهمترین باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌باشند که با تولید مقادیر قابل ملاحظه‌ای از هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین رشد و نمو و عملکرد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Azadi *et al*., 2013). یکی از مهمترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به‌وجود آمده است، همزیستی میکوریزا می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود برده و به رشد یکدیگر کمک می‌کنند (Naseri *et al*., 2017b). افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاهان زراعی در اثر کاربرد کودهای زیستی توسط محققان مختلفی گزارش شده است، در این رابطه بحرانی و همکاران (Bahrani *et al*., 2010) بیان کردند که

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
۳- استاد، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج
(*- نویسنده مسئول: Email: rahim.naseri@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i1.69147

قارچ میکوریزا اجزای عملکرد دانه و تعداد سنبلچه گندم را به شکل معنی‌داری افزایش می‌دهد. علاوه بر این عسکری و همکاران (Askary *et al*., 2009) افزایش تعداد دانه گندم را در اثر تلقیح کودهای زیستی گزارش کردند. مالک و همکاران (Malik *et al*., 2012) در یک بررسی نشان دادند که تلقیح باکتری *سودوموناس* با بذرهای گندم تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه در مقایسه با تیمار بدون تلقیح داشت. وو و همکاران (Wu *et al*., 2005) علت اصلی افزایش عملکرد غلات و سایر گیاهان تلقیح شده با ریزجانداران حل‌کننده فسفات را جذب بیشتر فسفر باشد عنوان کردند. تلقیح بذور با کود زیستی از طریق گسترش ریشه و قابل دسترس ساختن مواد غذایی و درنتیجه افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد گیاه ایجاد کرد (Shoghi Kalkhoran *et al*., 2010). در این راستا روزبه و همکاران (Rouzbeh *et al*., 2009) بیان داشتند که تلقیح کودهای زیستی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم گردید. برخی محققان بیان داشتند که کاربرد کودهای زیستی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای جذب توسط گیاه، اجزای عملکرد و عملکرد گندم را بهبود داد (Ahmed *et al*., 2011). قارچ میکوریزا با ایجاد تغییرات مورفولوژیک در ریشه منجر به افزایش سطح ریشه می‌گردد (Akhtar and Siddiqui, 2008).

با توجه به موارد فوق آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات ریشه گندم دیم (کراس‌سبلان و ساجی) در شرایط آب و هوایی ایلام انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام (با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا برابر با ۱۱۷۴ متر) و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله (با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و با طول جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه و ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل دو رقم گندم (کراس‌سبلان و ساجی) و هشت سطح کودی در شامل: ۱- شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۲- ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (50 kg.ha^{-1} P)، ۳- باکتری *سودوموناس پوتیدا* (PSB)، ۴- قارچ *گلوموس موسه آ* (GM)، ۵- باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه آ* (PSB+GM)، ۶- باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه آ* +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB+GM+25 kg.ha^{-1} P)، ۷- باکتری *سودوموناس پوتیدا*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB+25 kg.ha^{-1} P) و ۸- قارچ *گلوموس موسه آ* +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (GM+25 kg.ha^{-1} P). ابعاد هر کرت ۸ مترمربع، تعداد خطوط ۸ ردیف و طول هر ردیف چهار متر و فاصله هر تکرار ۱ متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش شامل هشت خط کاشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و طول چهار متر و تراکم بوته در واحد سطح ۲۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۶۸ (به صورت محلول) و قارچ *گلوموس موسه آ* (به صورت پودر) مورد استفاده در این پژوهش از بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. قبل از کشت، جهت تلقیح بذر گندم که از مرکز تحقیقات کشاورزی ایلام تهیه شد، به میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای $۱۰^{۷}$ عدد باکتری *سودوموناس* زنده و فعال و قارچ *گلوموس موسه آ* که هر گرم آن دارای ۱۵۰ اسپور زنده بود. پس از آغشته کردن بذور با باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه آ* و چرخاندن بذر در داخل ظرف به مدت چند دقیقه ادامه یافت تا مایه تلقیح به کمک صمغ عربی بذر به خوبی سطح بذر را (تلقیح به صورت بذر مال) پوشش دهد. بذور تیمار شده به مدت ده دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شوند. پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده قرار داده شدند مشخصات باکتری باکتری *سودوموناس پوتیدا* در جدول ۱ ارایه شده است. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار ۱۲۰ کیلوگرم بود. کودهای نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک (جدول ۳) مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- ویژگی‌های سویه باکتری حل‌کننده فسفات

Table 1-The characteristics of phosphate solubilizing bacteria strains

جنس، گونه و سویه	تولید سیدروفور	تولید هورمون اکسین (mg.L^{-1})	قابلیت حل‌کنندگی فسفات	تولید ACC دآیناز
Genus, species and strain	Siderophore production	IAA production	Phosphate solubilizing ability	ACC deaminase
Pseudomonas putida strains 168	0.70	9.8	+	+

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 2- Monthly mean temperature, precipitation and relative humidity in Agricultural Research Station of Ilam University and Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2013-2014 cropping season

		حداقل دما		حداکثر دما		میزان بارش		حداقل رطوبت		حداکثر رطوبت	
		Min temp. (°C)		**Max temp. (°C)**		**Precipitation (mm)**		**Min. RH (%)**		**Max. RH (%)**	
Month	ماه	ایلام	سرابله	ایلام	سرابله	ایلام	سرابله	ایلام	سرابله	ایلام	سرابله
Oct.	مهر	11	12.3	27	30.6	0	0	14	15	41	38
Nov.	آبان	7.5	8	25.6	19.6	163.5	156.4	45	45	84	78
Dec.	آذر	2.7	3.5	12.7	13.1	103.3	100.5	45	54	89	86
Jan.	دی	-1	–0.5	10.8	10.6	89.9	85.4	42	52	88	86
Feb.	بهمن	2	0.9	11	12	151.3	95.2	43	53	89	88
Mar.	اسفند	5	5	15.8	17.3	93.1	75.9	43	46	85	85
Apr.	فروردین	6.4	6.5	19.8	21.5	32.4	31.8	27	33	74	78
May	اردیبهشت	12.8	12.7	27.1	28.8	27.2	24.8	21	24	59	65
Jun.	خرداد	16.9	13	32.4	40.4	0	4	14	16	39	41

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 3- Soil physical and chemical properties in Agricultural Research Station of Ilam University and Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2013-2014 cropping season

		مکان	**Location**
		ایلام Ilam	سرابله Sarableh
عمق	Depth (cm)	0-30	0-30
بافت	Texture	لومی‌شنی Sandy loam	لومی‌رسی Clay loam
		(mg kg^{-1})	
آهن	Fe	9.16	5.71
روی	Zn	1	1
مس	Cu	1	1.1
منگنز	Mn	5.04	7.78
منیزیم	Mg	3.6	2.4
فسفر قابل جذب	Available P	7.2	6.2
پتاسیم قابل جذب	Available K	310	270
		(%)	
نیتروژن کل	Total N	0.12	0.13
کربن آلی	Organic Carbon	1.28	1.4
		(dS m^{-1})	
هدایت الکتریکی	E.C	0.97	0.45
اسیدیته خاک	pH	7.2	7.31

کود نیتروژن به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. در مورد کود فسفره ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل ۱۰۰٪ کود توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید. اندازه‌گیری خصوصیات وابسته به ریشه در داخل مزرعه بعد از مرحله گرده‌افشانی با استفاده از استوانه‌ای فلزی با ابعاد طول۳۰ سانتی‌متر و عرض دو سانتی‌متر که از قبل با دستی طراحی شده بود صورت گرفت. بعد از برداشت ریشه‌ها از داخل خاک، آن‌ها را در داخل ظرف یکبار مصرف گذاشته و پس از انتقال به آزمایشگاه اقدام به شستشوی ریشه‌ها کرده و سپس ریشه‌ها در داخل یخچال نگهداری شدند سپس اقدام به اندازه‌گیری صفات ریشه گردید. طول ریشه‌ها توسط دست و با دقت بالا پس از قرار دادن در آب جهت شناور شدن آن‌ها توسط خط‌کش با دقت زیاد اندازه‌گیری شدند. محاسبه حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق معادله (۱) انجام گرفت:

معادله ۱:

$A = B - C$. A= حجم ریشه، B= حجم آب و ریشه، C= حجم آب خالی.

سطح ریشه که از معادله (۲) محاسبه شد (Akhavan *et al*., 2012):

معادله۲: $RA = 2 \times SQRT\langle RV \times 3.14 \times RL \rangle$

RA= سطح ریشه، RV= حجم ریشه، RL= طول ریشه،SQRT= ریشه دوم.

تراکم طول ریشه از طریق معادله زیر به‌دست آمد (Mahanta *et al*., 2014):

معادله ۳:

$RLD = \frac{RL}{SV}$. RLD= تراکم طول ریشه، RL= طول ریشه، SV= حجم خاک.

قطر ریشه که طریق محاسبه آن به صورت زیر انجام گرفت (Hajabbasi, 2001):

معادله ۴: $RD = SQRT \frac{\langle 4 \times FRW \rangle}{\langle RL \times 3.14 \rangle}$

RD= قطر ریشه، FRW= وزن تر ریشه، RL= طول ریشه، SQRT= ریشه دوم.

طریقه محاسبه چگالی سطح ریشه به صورت زیر انجام گرفت (Akhavan *et al*., 2012):

معادله ۵:

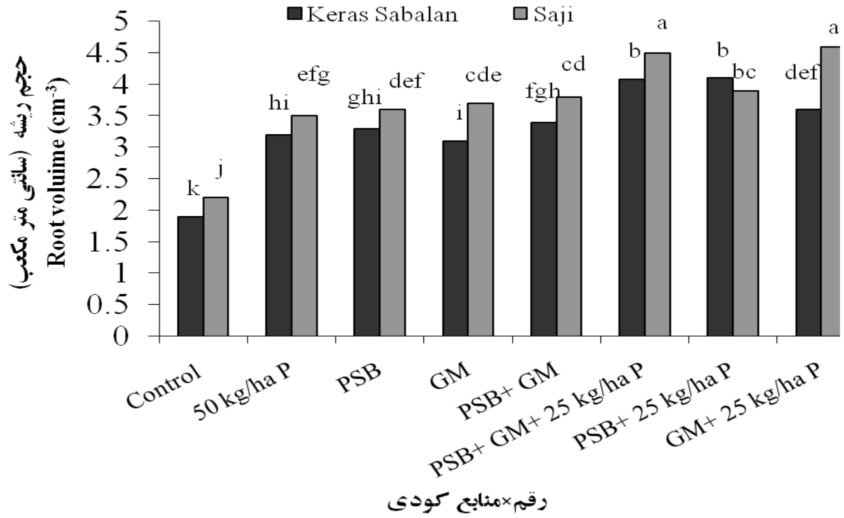
$RAD = RL \times RD \times 3.14$. RAD= چگالی سطح ریشه، RL= طول ریشه، RD= قطر ریشه.

جهت اندازه‌گیری تعداد سنبله در متر مربع از کوادرات یک متر مربعی استفاده گردید. تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفت تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین وزن هزار دانه ۱۰۰۰ بذر از هر تیمار به صورت تصادفی شمارش و توسط ترازوی دیجیتالی محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه بوته‌های موجود در هرکرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در ۲/۲۵ متر مربع به صورت جداگانه کف بر و محاسبه گردید. جهت محاسبه عملکرد بیولوژیک پس از برداشت بوته‌های هر کرت آزمایشی و قبل از جدا کردن دانه‌ها، وزن کل بوته‌ها اندازه‌گیری و عملکرد بیولوژیک تعیین گردید. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1، ترسیم شکل‌ها توسط نرم‌افزار اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات ریشه

در این آزمایش برهمکنش رقم×منابع کودی بر حجم ریشه معنی‌داری گردید (جدول ۴). بیشترین حجم ریشه با متوسط ۳/۵ سانتی‌متر مکعب از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ *گلوموس موسه آ* +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن با متوسط ۱/۹ سانتی‌متر مکعب از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۳/۶ درصدی در حجم ریشه گردید (شکل ۱). حجم ریشه از مهمترین صفت و معیار جهت جذب آب و مواد غذایی می‌باشد بنابراین حجم ریشه یک واحد اندازه‌گیری خوبی جهت روابط عملی بین قسمت‌های هوایی و ریشه می‌باشد (Ganjeali and Kafi, 2007). در گزارشات کارید و همکاران (Caird *et al*., 2007) نیز بیان شد که نسبت حجم ریشه به اندام‌های هوایی می‌تواند یکی از مهمترین شاخص‌های پیش‌بینی شده برای میزان تنفس و جذب آب باشد. در این پژوهش نشان داده شد ارقام ساجی و کراس‌سبلان در شرایط دیم در مقایسه با ارقام آبی از طول ریشه و حجم ریشه بیشتری در طول دوره آزمایش برخوردار بود. بیان شده است که ارقام گندم دیم به خشکی ریشه طویل‌تر و حجم ریشه بیشتری نسبت به دیگر ارقام دارند (Naseri *et al*., 2016). قارچ‌های میکوریزا به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌وسیله گیاهان می‌شوند (Esmaielpour *et al*., 2014).



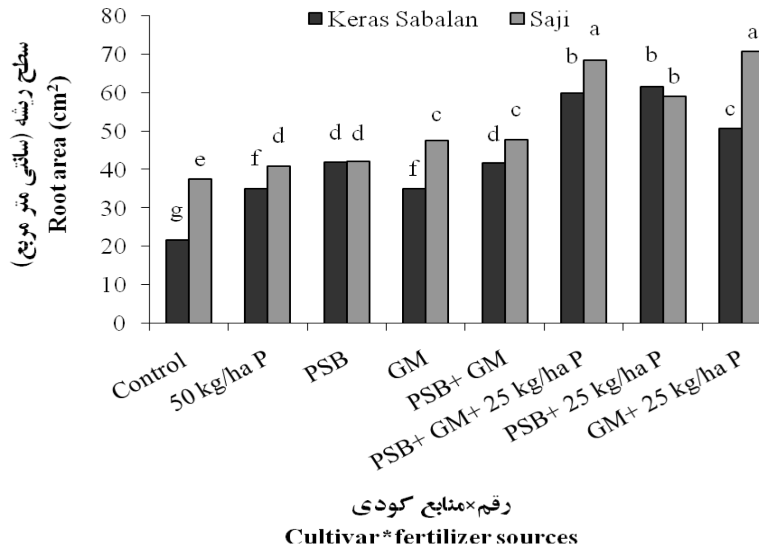
شکل ۱- برهمکنش رقم×منابع کودی بر حجم ریشه در ارقام گندم دیم

Figure 1- Interaction of cultivar ×fertilizer sources on root volume in dry land wheat cultivars

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means within same letter are not significantly different (p<0.05).

در این آزمایش اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر سطح ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین سطح ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ *گلوموس موسه آ* +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف منبع کودی) موجب افزایش ۶۹/۳ درصدی در سطح ریشه گردید (شکل ۲). افزایش سطح ریشه از طریق افزایش نقاط ورودی آب و عناصر غذایی و همچنین افزایش سطح جذب می‌تواند کارآیی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (Abrishamchi *et al*., 2012). در بررسی سطح ریشه مشخص شد تلقیح بذور با باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا در هر دو رقم مورد پژوهش توانسته‌اند سطح ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد که این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار گردید.



شکل ۲- برهمکنش رقم×منابع کودی بر سطح ریشه در ارقام گندم دیم

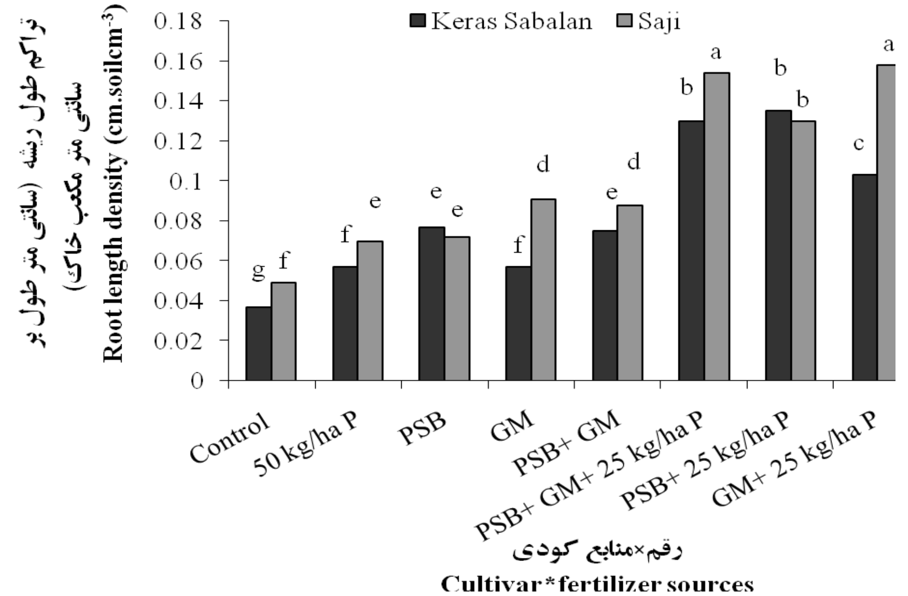
Figure 2- Interaction between cultivar ×fertilizer sources on root area in dry land wheat cultivars

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means within same letter are not significantly different (p<0.05).

یکی از مهمترین مکانیزم‌های رشد گیاه به‌وسیله باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، تغییر در ریخت‌شناسی و فیزیولوژی سیستم ریشه‌ای گیاه است. این باکتری‌ها موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین می‌شوند که این امر موجب افزایش سطح ریشه و افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی شده در نتیجه، موجب بهبود وضع آبی گیاه می‌شود (Askary *et al*., 2009). نشان داده شده است که تغییرات هورمونی به دلیل استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد سبب افزایش سطح ریشه خواهد بود (Shaharoona *et al*., 2008). قارچ میکوریزا با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین ۱۰۰۰-۱ برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیب گیاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می‌کند (Sharma, 2002). در این پژوهش نشان داده شدکه در شرایط دیم رقم ساجی می‌تواند موجب جذب بیشتر آب از طریق افزایش طول و سطح ریشه گردد، که دلیل این موضوع را تغییر ساختار ریشه و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد ریشه بیان کردند (Khalvati *et al*., 2005).

در این آزمایش برهمکنش رقم×منابع کودی بر صفت تراکم طول ریشه معنی‌داری گردید (جدول ۴). بیشترین تراکم طول ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ *گلوموس موسه آ* +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۶/۵ درصدی در تراکم طول ریشه گردید (شکل ۳). به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر به دلیل انتشار از طریق میسلیوم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌برداری از حجم بیشتری از خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند (Parsa-Motlagh *et al*., 2011).



شکل ۳ - برهمکنش رقم×منابع کودی بر تراکم طول ریشه در ارقام گندم دیم

Figure 3- Interaction between cultivar ×fertilizer sources on root length density in dry land wheat cultivars

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means within same letter are not significantly different ($p<0.05$).

در این آزمایش برهمکنش رقم×منابع کودی بر قطر ریشه معنی‌داری گردید (جدول ۴). بیشترین قطر ریشه از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و کمترین آن از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا*+قارچ *گلوموس موسه آ* +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر حاصل شد، که نسبت به تیمار کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا*+قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر موجب افزایش ۲۹/۷ درصدی در قطر ریشه گردید (جدول ۸). اثر برهمکنش مکان×رقم نیز بر قطر ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). در این پژوهش با توجه به جدول برهمکنش، بیشترین قطر ریشه در منطقه ایلام و رقم کراس‌سبلان به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد می‌توان دلیل کاهش قطر ریشه با مصرف کود زیستی را مربوط به افزایش طول ریشه در اثر مصرف کود زیستی دانست (Jiriaie *et al*., 2014).

جدول ٤- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مربوط به ریشه ارقام گندم دیم در تحت تاثیر منابع کودی

Table 4- Combined Analysis of variance (mean squares) for cultivar and fertilizer sources on grain yield and root system in two dry land wheat cultivars

منابع تغییر	S.O.V	درجه آزادی df	حجم Volume	سطح Area	قطر Diameter	تراکم طول Length density	چگالی سطح Surface density
مکان	Location (L)	1	7.05**	2399.1**	0.009**	0.0147**	9156.4**
بلوک داخل مکان	Block in location	4	0.29	114.6	0.014	0.0016	145.9
رقم	Cultivar (C)	1	3.06**	1213.3**	0.009**	0.0074**	1781.4**
منابع کودی	Fertilizer sources (FS)	7	5.8**	2246.7**	0.02**	0.016**	3124.4**
رقم×منابع کودی	C×FS	7	0.32**	147.9**	0.001**	0.0011**	223.3**
مکان × رقم	L×C	1	0.014ns	4.09ns	0.002**	0.00001ns	31.6ns
مکان ×منابع کودی	L×FS	7	0.028ns	4.4ns	0.0005ns	0.000049ns	58.09**
مکان × رقم ×منابع کودی	L×C×FS	7	0.016ns	4.2ns	0.00009ns	0.00043ns	6.2ns
خطا	Error	60	0.048	13.8	0.0005	0.00009	19.8
ضریب تغییرات (درصد)	C.V (%)	-	6.1	7.9	6.03	10.4	7.8

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

جدول ٥- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم دیم در تحت منابع کودی

Table 5- Combined Analysis of variance (mean squares) for traits related to grain and yield components in dry land wheat cultivars influenced by fertilizer sources

منابع تغییر	S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد سنبله در متر مربع $Spikes.m^{-2}$	تعاد سنبلچه در سنبله $spikelet.spike^{-1}$	تعداد دانه درسنبله $Grains.spike^{-1}$	وزن هزاردانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیست‌توده Biomass yield
مکان	Location (L)	1	98.01ns	0.16ns	894.2*	8.3ns	5870407.4ns	40926775.4*
بلوک داخل مکان	Block in location	4	3926.1	1.3	59.5	10.4	1150355.7.7	4868382.8
رقم	Cultivar (C)	1	2871.09**	64.6**	896.7**	61.6**	3826172.4**	8345847.2**
منابع کودی	Fertilizer sources (FS)	7	1314.9**	58.8**	488.8**	43.02**	5314073.6**	15970442.4**
رقم× منابع کودی	C×FS	7	373.06**	7.1**	52.4**	8.07**	520658.05**	2110590.3**
مکان×رقم	L×C	1	23.01ns	0.05ns	5.04ns	1.6ns	5451.1ns	55560.3ns
مکان×منابع کودی	L×FS	7	4.5ns	0.35ns	16.3*	1.03ns	125412.01ns	224064.7ns
مکان×رقم× منابع کودی	L×C×FS	7	15.03ns	0.26ns	48.13ns	1.01ns	14869.4ns	114753.9
خطا	Error	60	71.05	0.51	6.3	1.7	83740.7	337829.3
ضریب تغییرات (درصد)	C.V (%)	-	3.4	5.4	8.3	6.7	11.9	9.8

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×رقم بر قطر ریشه دو رقم گندم دیم

Table 6- Mean comparisons of interaction effect of location ×cultivar sources on root diameter in two dry land wheat cultivars

مکان	Location	رقم	Cultivar	قطر ریشه Root diameter (cm)
ایلام	Ilam	کراس‌سبلان	Keras Sabalan	0.38 (±0.013)[a]
		ساجی	Saji	0.35 (±0.011)[b]
سرابله	Sarableh	کراس‌سبلان	Keras Sabalan	0.39 (±0.011)[a]
		ساجی	Saji	0.38 (±0.009)[a]

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

بانرجی و همکـاران (Banerjee *et al*., 2006) و وسـی و بـاس (Vessey and Buss, 2002) افزایش حجم و تعداد ریشه در غـلات را به دلیل تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشد گزارش نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم‌کننـده رشـد تولیـد شـده بـه‌وسـیله باکتری‌های افزاینده رشد بر رشـد ریشـه از طریـق پارامترهـایی بـروز می‌کند که مهمترین آن‌ها افـزایش وزن و انشـعابات ریشـه، کـاهش ضخامت ریشه و افزایش تارهای موبین سطح ریشه می‌باشند.

چگالی سطح ریشه در این پژوهش مـورد بررسـی قـرار گرفـت و تحت تاثیر برهمکنش رقم×منابع کودی معنی‌داری گردید (جـدول ۴). بیشترین چگالی سـطح ریشـه از رقـم سـاجی و تحـت کـاربرد قـارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هـیچ منبـع کـودی) حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبـع کـودی) موجب افزایش ۶۹ درصدی در چگالی سطح ریشه گردید (جـدول ۸). اثر برهمکنش مکان×منابع کودی نیز بر چگالی سطح ریشه معنـی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد کـه منطقـه سرابله در تیمار باکتری *سودوموناس پوتیـدا*+ قـارچ *گلومـوس موسـه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین و منطقـه ایلام در شاهد دارای کمترین چگالی سطح ریشه بـود (جـدول ۷). در بررسی چگالی سطح ریشه گندم، نتایج نشـان داد کـه تلقـیح بـذو بـا باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا توانست چگالی سطح ریشه را به‌ترتیب ۳۰ و ۲۰ درصد افـزایش دهـد، بـه نظـر مـی‌رسـد قـارچ میکوریزا از طریق تغذیه مناسب می‌تواند موجب افزایش وزن خشـک ریشه و اندام هوایی شود به نحوی که گیاه آلـوده بـه قـارچ میکـوریزا می‌توانند فسفر غیر قابل دسترس گیاهان که با فاصله دورتری نسـبت به ریشه‌های آن‌ها قرار دارند از طریق میسیلیوم‌های خود جذب نمایند و در نتیجه باعث جذب بیشتر مواد غذایی توسط ریشه شوند (Jiriaie *et al*., 2014). قارچ‌های میکوریزا با تشکیل شبکه‌هـایی در اطـراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین ۱۰۰۰-۱ برابر افزایش می‌دهند و به ایـن ترتیـب گیـاه توانـایی بیشـتری در استفاده ازمنابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می‌کند (Sharma, 2002).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×منابع کودی بر چگالی سطح ریشه گندم دیم

Table 7- Mean comparisons of interaction effect of location ×fertilizer sources on root surface area density under dry land wheat

			ایلام	Ilam			
Control	50 kg.ha^{-1} P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha^{-1} P	PSB+25 kg.ha^{-1} P	GM+25 kg.ha^{-1} P
23.4 (±1.5)[f]	38.07 (±2.6)[e]	41.3 (±1.7)[de]	41.4 (±2.8)[de]	44.1 (±1.9)[d]	64.2 (±3.07)[b]	60.4 (±1.5)[b]	60.9 (±4.8)[b]
			سرابله	Sarableh			
37.1 (±0.91)[e]	52.8 (±3.8)[c]	58.6 (±1.5)[b]	59.2 (±4.3)[b]	64.1 (±3.7)[b]	88.6 (±3.5)[a]	86.1 (±2.6)[a]	83.5 (±6.2)[a]

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج واریانس مرکب داده‌های حاصل از دو مکان، اثـرات اصـلی رقم و منابع کودی و برهمکنش آن‌ها بر تعـداد سـنبله در متـر مربـع معنی‌دار گردید (جدول ۵). در این پژوهش مشاهده گردید که اسـتفاده از باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه آ* در دو رقم گندم نان و دوروم موجب افزایش تعداد سنبله در متر مربع گردید. بیشـترین تعداد سنبله با متوسط ۲۶۷/۳ از رقم کـراس‌سـبلان و تحـت کـاربرد باکتری *سودوموناس پوتیـدا*+ ۲۵ کیلـوگرم در هکتـار کـود شـیمیایی

فسفر و کمترین تعداد سنبله با متوسط ۲۲۲/۶ سنبله از رقم ساجی و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۱۶/۷ درصدی در تعداد سنبله در مترمربع گردید (جدول ۱۰). با توجه به اینکه فسفر دومین عنصر محدودکننده بعد از نیتروژن می‌باشد، در تیمار عدم استفاده از کود شیمیایی و عدم تلقیح با کود زیستی به علت عدم استفاده از هر نوع کود فسفره رشد پنجه‌ها و به تبع تعداد سنبله در متر مربع در شاهد کمتر بود. این افزایش تعداد سنبله در متر مربع احتمالاً ناشی از وجود تیمارهای کود شیمیایی و کود زیستی در محدوده خاک یا ریزوسفر است که به‌وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آن، افزایش جذب مواد غذایی باعث رشد گیاه از جمله افزایش این صفت می‌گردد، همانطور که نتایج این مطالعه نشان داد تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا* به دلیل توانایی در افزایش جذب عناصر غذایی (Naseri *et al*., 2017b) در مرحله رویشی تاثیر به‌سزایی در تعداد پنجه در بوته و به تبع بر تعداد سنبله از خود نشان داد. مرسیز و هیس (Mertnese and Hess, 2004) نیز طی تحقیقات خود، افزایش عملکرد گندم تلقیح شده با کود زیستی را مربوط به افزایش تعداد پنجه در گیاه بیان کرده‌اند.

صفت تعداد دانه در سنبله یکی از معیارهای تعیین‌کننده عملکرد دانه محسوب می‌شود زیرا هرچه تعداد دانه بیشتر باشد، تعداد مخزن بزرگتری برای تجمع آسیمیلات به‌وجود آمده و هر عاملی که باعث افزایش این معیار شود، باعث افزایش عملکرد دانه خواهد شد، که در این آزمایش تحت تاثیر برهمکنش رقم×منابع کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). استفاده از منابع کودی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله گردید. به طوری که بیشترین تعداد دانه با متوسط ۴۳/۷ دانه از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن با متوسط ۱۴/۳ دانه در سنبله از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۶۷/۲ درصدی در تعداد دانه در سنبله گردید (جدول ۱۰). اثر برهمکنش مکان×منابع کودی نیز بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار شد، به طوری‌که منطقه سرابله در قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین و منطقه ایلام در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) دارای کمترین تعداد دانه در سنبله بودند (جدول ۹). در این پژوهش نشان داده شد با توجه به اینکه در مرحله گرده‌افشانی تعداد دانه درسنبله تعیین می‌گردد بنابراین هر عاملی که موجب اختلال در عمل گرده‌افشانی گردد موجب کاهش در تشکیل تعداد دانه خواهد شد، همانطور که جدول آب و هواشناسی (جدول ۲) نیز نشان می‌دهد در شرایط دیم ایلام و سرابله از اسفند ماه معمولاً ما شاهد کاهش بسیار شدید در نزولات جوی هستیم که همین امر تاثیر منفی بر گرده‌افشانی و متعاقب آن تعداد دانه در سنبله گذاشت. استفاده از باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه آ* از طریق افزایش سیستم ریشه‌ای از جمله طول و حجم ریشه، سطح ریشه و تراکم طول ریشه (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) سبب افزایش مواد پرورده شده که به نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله شده است. در گزارشات الکراکی و همکاران (Al-Karaki *et al*., 2004) تاثیر کود زیستی بر طولانی‌تر شدن دوره پرشدن دانه در گندم و در نتیجه آن افزایش تعداد دانه در سنبله گزارش گردید. در این آزمایش کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه آ* موجب افزایش معنی‌دار در تعداد دانه در سنبله گردید که نتیجه افزایش سیستم ریشه‌دهی قوی و افزایش جذب عناصر غذایی بود. حضور کودهای زیستی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای ماده آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم می‌شود، این اثرات در حضور کودهای شیمیایی تشدید می‌شود (Eydizadeh *et al*., 2010) و از طریق گسترش ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله گندم گردیده باشد (Amiri Farsani *et al*., 2013).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×منابع کودی بر تعداد دانه در سنبله دو رقم گندم دیم

Table 9- Mean comparisons of interaction effect of cultivar ×fertilizer sources on grains.spike^{-1} d in two dry land wheat cultivars

			ایلام	Ilam			
Control	50 kg.ha^{-1} P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha^{-1} P	PSB+25 kg.ha^{-1} P	GM+25 kg.ha^{-1} P
14.7 (±1.18)^{j}	25.9 (±1.21)^{gh}	28.5 (±1.52)^{fg}	24.7 (±2.8)^{h}	27.1 (±1.15)^{gh}	31.1 (±1.16)^{cde}	34.3 (±1.3)^{cd}	30.7 (±1.18)^{ef}
			سرابله	Sarableh			
19.2 (±1.18)^{i}	30.8 (±1.18)^{ef}	31.9 (±1.7)^{cde}	35.06 (±2.9)^{c}	31.6 (±1.3)^{def}	40.17 (±2.5)^{b}	34.1 (±1.04)^{cd}	43.7 (±2.9)^{a}

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

وزن هزار دانه که از اجزای مهم عملکرد دانه به‌حساب می‌آید، در این پژوهش تحت برهمکنش رقم×منابع کودی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). بیشترین وزن هزار دانه با متوسط ۳۹/۷ گرم از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین وزن هزار دانه با متوسط ۳۲/۰۳ گرم از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۱۹/۳ درصدی در وزن هزار دانه گردید (جدول ۱۰). علت افزایش وزن هزاردانه را در دو رقم و تیمار قارچ *گلوموس موسه آ* می‌توان به دلیل این باشد که زمانی‌که گیاه شدیداً در حال رشد می‌باشد مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه‌ها انتقال می‌یابد، توسعه ریشه شرایط برای جذب عناصر غذایی فراهم می‌شود که این به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می‌گردد. زمانی‌که گیاه به دوران رسیدگی نزدیک می‌گردد مواد حاصل از فتوسنتز را به اندام‌های زایشی (دانه‌ها) منتقل می‌کند. باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه آ* از طریق تسریع و تقویت این عمل سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد (Naseri *et al*., 2017a). در شرایط آب و هوایی ایلام و در مرحله تشکیل و پر شدن دانه که عملاً کمبود آب و گرما (جدول ۲) را شاهد هستیم کمبود رطوبت موجب می‌گردد که عمل تشکیل دانه و پر شدن دانه به خوبی صورت نگیرد و با مشکل مواجه گردد که نتیجه آن چروکیدگی و کاهش وزن هزار دانه می‌باشد. در این پژوهش نیز نشان داده شد که باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه آ* موجب فراهم شدن رشد بهتر اندام‌های هوایی از طریق افزایش سیستم ریشه‌دهی و جذب عناصر غذایی عذایی، موجب افزایش میزان کلروفیل برگ شده (Naseri *et al*., 2017b) که متعاقب آن سبب افزایش سطح سبز گیاه و موجب ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی به سمت دانه و افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. به نظر می‌رسد کود زیستی با تولید هورمون‌های رشد و تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن را نیز فراهم ساخته‌اند (Naseri *et al*., 2017a). ناصری و همکاران (Naseri *et al*., 2010) در آزمایشی نشان دادند کمبود آب اندازه و وزن دانه‌های گندم را به علت تقلیل انتقال مجدد آسیلات‌ها کاهش می‌دهد و کاهش وزن هزار دانه و تعداد دانه باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود.

همان‌طوری که جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان می‌دهد عملکرد دانه تحت تاثیر رقم، منابع کودی و همچنین برهمکنش آن‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). بیشترین عملکرد دانه با متوسط ۳۵۷۱/۶ و ۳۵۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین عملکرد دانه با متوسط ۹۸۵/۰۱ کیلوگرم در هکتار از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۲ درصدی در عملکرد دانه گردید (جدول ۱۰). بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه آ* در هر دو رقم را می‌توان به بالا بودن اجزای عملکرد یعنی تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت داد. به نظر می‌رسد که تلقیح بذر با باکتری *سودوموناس پوتیدا* و احتمالاً ایجاد شرایط مناسب جهت جوانه‌زنی باعث استقرار سریع‌تر گیاهچه (Amiri *et al*., 2013) و بهره‌مندی بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه (Ehteshami *et al*., 2014) می‌شود. چنین وضعیتی باعث می‌شود که تا گیاه شرایط مناسب‌تری را جهت پر کردن دانه‌ها داشته باشد که این وضعیت همراه با افزایش عملکرد دانه نمود بیشتری می‌یابد. تحقیقات دیگر نیز نشان داده که لااقل برخی از سویه‌های *سودوموناس* می‌توانند از طریق تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و افزایش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی به طور مستقیم نیز در افزایش رشد گیاه موثر شوند (Sharma, 2002). در گزارشات دیگر نیز افزایش عملکرد دانه در سطوح کودی در گیاهان تلقیح شده، به افزایش جذب عناصر غذایی فسفر تولیدهای رشد، تحمل به تنش خشکی و مقاومت به عوامل بیماری‌زا گزارش شده است (Ashraf *et al*., 2004). دلیل افزایش عملکرد دانه در تیمار منابع کودی را ناشی از مطابقت بیشتر کود شیمیایی فسفر قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه در تیمار منابع کودی می‌توان دانست.

کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و ساختمان گرانوله‌ای خاک، افزایش فعالیت‌های کود زیستی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک از دلایل افزایش عملکرد در سیستم‌های تغذیه تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند باشد (Maghsoudi *et al*., 2014).

اثر برهمکنش رقم×منابع کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار گردید (جدول ۵). بیشترین عملکرد زیستی با متوسط ۷۸۴۰/۶ کیلوگرم در هکتار از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا*+ قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین عملکرد زیست‌توده با متوسط ۳۳۴۰ کیلوگرم در هکتار از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۷ درصدی در عملکرد زیست‌توده گردید (جدول ۱۰). اثر ساده مکان بر عملکرد زیست‌توده نیز معنی‌دار گردید (جدول ۴).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر قطر ریشه و چگالی سطح ریشه دو رقم گندم دیم

Table 8- Mean comparisons of interaction effect of cultivar ×fertilizer sources on Root diameter and root surface area density in two dry land wheat cultivars

		قطر ریشه		Root diameter (cm)			
			کراس سبلان	Keras Sabalan			
شاهد Control	50 kg.ha^{-1} P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha^{-1} P	PSB+25 kg.ha^{-1} P	GM+25 kg.ha^{-1} P
0.44 (±0.017)^{a}	0.43 (±0.022)^{ab}	0.39 (±0.013)^{cde}	0.43 (±0.014)^{ab}	0.40 (±0.014)^{cd}	0.31 (±0.011)^{g}	0.32 (±0.013)^{fg}	0.34 (±0.014)^{f}
			ساجی	Saji			
0.41 (±0.019)^{bc}	0.40 (±0.018)^{cd}	0.40 (±0.012)^{cd}	0.37 (±0.010)^{e}	0.38 (±0.012)^{de}	0.31 (±0.012)^{g}	0.32 (±0.014)^{fg}	0.31 (±0.0099)^{g}
		چگالی سطح ریشه			Root surface area density ($cm^{2}\cdot cm^{-3}$)		
			کراس سبلان	Keras Sabalan			
26.9 (±3.1)^{g}	42.3 (±4.1)^{e}	50.9 (±4.3)^{d}	50.42 (±3.3)^{d}	50.3 (±4.4)^{d}	70.4 (±5.5)^{b}	74 (±6.5)^{b}	60.1 (±4.5)^{c}
			ساجی	Saji			
33.6 (±3.2)^{f}	48.5 (±4.7)^{d}	49.1 (±4.05)^{d}	58 (±4.8)^{c}	57.9 (±5.6)^{c}	82.4 (±6.03)^{a}	75.5 (±5.6)^{b}	84.3 (±5.8)^{a}

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم دیم

Table 10- Mean comparisons of interaction effect of cultivar ×fertilizer sources on yield and yield component in two dry land wheat cultivars

		تعداد سنبله در متر مربع				**Spike.m^{-2}**	
			کراس سبلان	**Keras Sabalan**			
شاهد Control	50 kg.ha^{-1} P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha^{-1} P	PSB+25 kg.ha^{-1} P	GM+25 kg.ha^{-1} P
225.1(±5.7)^{h}	249.1(±4.03)^{cd}	258(±6.16)^{abc}	246.8(±6.64)^{de}	249.6(±7.03)^{cd}	263.8(±6.9)^{ab}	267.3(±6.9)^{a}	267.3(±4.2)^{a}
			ساجی	Saji			
222.6(±7.9)^{h}	239.1(±5.02)^{efg}	232(±6.14)^{gh}	246.1(±2.62)^{def}	236.8(±6.24)^{fg}	248.8(±7.01)^{cde}	242.1(±5.98)^{def}	257.5(±4.51)^{bc}
		تعداد دانه در سنبله				Grains.spike^{-1}	
			کراس سبلان	Keras Sabalan			
14.3 (±0.59)^{j}	25.9 (±1.4)^{gh}	28.5(±1.8)^{fg}	24.7 (±1.4)^{h}	27.1 (±1.6)^{gh}	32 (±2.01)^{de}	34.3 (±2.2)^{cd}	30.7 (±1.8)^{ef}
			ساجی	Saji			
19.2 (±1.5)^{i}	30.8 (±1.6)^{ef}	31.9(±2.3)^{dce}	35.06 (±2.8)^{cx}	31.6 (±1.7)^{de}	40.1(±1.6)^{b}	34.1(±1.5)^{cd}	43.7 (±1.1)^{a}
		وزن هزار دانه			1000-greain weight (g)		
			کراس سبلان	Keras Sabalan			
32.03 (±0.69)^{h}	32.9(±0.36)^{gh}	34.4(±0.76)^{defg}	34.1(±1.07)^{fg}	33.7(±0.67)^{h}	35.9(±0.48)^{bvd}	37.1(±0.68)^{b}	35.5(±0.56)^{cdef}
			ساجی	Saji			
33.2(±0.4)^{gh}	34.2(±0.27)^{defg}	34.4(±0.2)^{defg}	35.7(±0.59)^{bcde}	35.3(±0.34)^{cdef}	39.7(±0.47)^{a}	36.4(±0.37)^{bc}	39.5(±0.9)^{a}
		عملکرد دانه				Grain yield (kg.ha^{-1})	
			کراس سبلان	Keras Sabalan			
985.1(±196.78)^{g}	1959.01(±111.76)^{f}	2300.4(±150.4)^{e}	1949.3(±122)^{f}	2066.9(±187.65)^{ef}	2727.9(±230.98)^{c}	3158.6(±161.23)^{b}	2666.5(±239.28)^{cd}
			ساجی	Saji			
1286.2(±176.5)^{g}	2310.08(±158.62)^{e}	2359.7(±197.05)^{de}	2741.7(±219.41)^{c}	2382.9(±147.06)^{de}	3517.8(±143.45)^{a}	2838.7(±180. 8)^{bc}	3571.6(±199.87)^{a}
		عملکرد زیست توده				Biomass yield (kg.ha^{-1})	
			کراس سبلان	Keras Sabalan			
3340(±310.1)^{g}	5443.3(±351.53)^{ef}	5808.5(±368.7)^{cde}	5078.8(±259.77)^{f}	5138.3(±362.75)^{ef}	6401.7(±491.78)^{bc}	7281.6(±196.65)^{a}	6121.6(±435.16)^{bcd}
			ساجی	Saji			
3865(±314.34)^{g}	5668.3(±373)^{def}	5661.6(±371.1)^{def}	6439.8(±492.1)^{bc}	5571.1(±367.9)^{def}	7840.6(±445.34)^{a}	6526.6(±476.84)^{b}	7758.3(±565.9)^{a}

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

روند تغییرات عملکرد زیست‌توده مشابه عملکرد دانه بوده است. در تیمار منابع کودی عملکرد زیست‌توده به دلیل افزایش اجزای زایشی (تعداد سنبله در متر مربع، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه و وزن هزار دانه) در مقایسه با شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و جذب جذب عناصر غذایی بیشتر (Naseri *et al*., 2017b) توسط گیاه رشد و نمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می‌دهد و این امر موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده در گیاه می‌شود. بر اساس نتایج رودریگز و فراگا (Rodriguze and Fraga, 1999) در اثر کاربرد *سودوموناس* افزایش معنی‌داری در عملکرد زیست‌توده همراه با افزایش فسفر در گیاه گندم گزارش شده است. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش به‌خصوص عملکرد زیست‌توده و سایر صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد می‌توان چنین نتیجه گرفت که قارچ میکوریزا در شرایط مختلف رطوبتی می‌تواند باعث افزایش عملکرد زیست‌توده شود و در شرایط تنش خشکی گرما باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌ها می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده نشان داده شد که تلقیح بذر گندم دیم با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا سبب افزایش سیستم ریشه‌دهی گندم که در نهایت موجب بهبود خصوصیات رشدی گیاه و در نهایت عملکرد دانه به‌واسطه کاهش تنش‌های آخر فصلی (خشکی و دما) که گندم با آن مواجه می‌گردد موثر گردید. در این پژوهش در هر دو رقم گندم مورد استفاده از باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه آ* به‌واسطه افزایش خصوصیات ریشه (حجم ریشه، سطح ریشه، تراکم طول ریشه و چگالی سطح ریشه) سبب افزایش رطوبت و در نهایت خصوصیات رشدی گیاه شد. تیمار رقم ساجی× قارچ *گلوموس موسه آ*+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر توانست با ایجاد سیستم ریشه گستره موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط دیم شد. از آنجا که در شرایط دیم محدودیت آب در مناطق خشک و نیمه خشک و شرایط دیم ایلام جهت دسترسی به حداکثر عملکرد دانه وجود دارد جهت جبران خسارت ناشی از تنش‌های محیطی در کشت دیم استفاده از رقم ساجی در قارچ میکوریزا می‌تواند مفید باشند.

References

1. Abrishamchi, P., Ganjeali, A., and Sakeni, H. 2012. Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 3 (2): 17-30. (in Persian with English abstract).
2. Al-Karaki, G., Michael, M. C., and John Zak, B. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza 14: 263-269.
3. Askary, M., Mostajeran, A., Amooaghaei, R., and Mostajeran, M. 2009. Influence of the coinoculation *Azospiriilum brasilense* and *Rhizobium meliloti* plus 2, 4-d on grain yield and NPK content of *Triticum aestivum* (cv. Baccros and Mahdavi). Pakistan Journal of Biological 5: 296-307.
4. Ahmed, M. A., Amal, G. A., Magda, H. M., and Tawfik, M. M. 2011. Integrated effect of organic and biofertilizer on wheat productivity in new reclaimed sandy soil. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 7: 105-114.
5. Akhtar, M. S., and Siddiqui, Z. A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotestants against plant pathogens. p. 61-97. In: Z.A. Siddiqui, et al. (Eds.) mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry, Springer Science+Business Media B.V.
6. Akhavan, S., Shabanpour, M., and Esfahani, M. 2012. Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. Journal of Water and Soil 26 (1): 725-735.
7. Amiri, M. B., Rezvani Moghadam, P., Ghorbani, R., Falahi, Gh., Deyhimfard, R., and Falah Pour. F. 2013. Effects of coulanation with bio-fertilier on growth characteristics of three wheat cultivars at emergency growth under greenhouse conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (1): 64-72. (in Persian with English abstract).
8. Amiri Farsani, F., Chorom, M., and Enayatizamir. N. 2013. Effect of biofertilizer and chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in experimental greenhouse. Soil and Water 27 (2): 441-451. (in Persian with English abstract).
9. Ashraf, M., Museen-Ud-Din, M., and Warraich, N. H. 2004. Production efficiency of mung bean (*Vigna radiate* L.) as affected by seed inoculation and NPK application. International Journal of Agriculture and Biology 5 (2): 179-180.
10. Askary, M., Mostajeran, A., Amooaghaei, R., and Mostajeran, M. 2009. Influence of the coinoculation *Azospiriilum brasilense* and *Rhizobium meliloti* plus 2, 4-d on grain yield and NPK content of *Triticum aestivum* (cv. Baccros and Mahdavi). Pakistan Journal of Biological 5: 296-307.
11. Asrar, A. W. A., and Elhindi, K. M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences 18: 93-98.

12. Azadi, S., Siadat, A., Naseri, R., Soleymanifard, A., and Mirzaei, A. 2013. Effect of integrated application of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillium brasilense* and nitrogen chemical fertilizers on qualitative and quantitative of durum wheat. Journal of Crop and Ecophysiology 5 (26):129-146. (in Persian with English abstract).
13. Baghban-Tabiat, S., and Rasouli-Sadaghiani, M. 2012. Investigation of Zn utilization and acquisition efficiency in different wheat genotypes at greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center 3 (2): 17-32. (in Persian with English abstract).
14. Bahrani, A., Pourreza, J., and Haghjoo, M. 2010. Response of winter wheat to co-inoculation with *Azotobacter* and Arbescular Mycorrhizal fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science 8(1): 95-103.
15. Banerjee, M., Yesmin, R. L., and Vessey, J. L. 2006. Plant-growth- promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. pp. 137-181. In: Handbook of microbial biofertilizers. Ed., Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A.
16. Caird, M. A., Richards, J. H., and Donovan, L. A. 2007. Night time stomatal conductance and transpiration in C_3 and C_4 plants. Plant Physiology 143: 4-10.
17. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., and Yacovokon, Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Review Plant Science 22: 107-149.
18. Esmaielpour, B., and Amani, N. 2014. Investigating the effect of mycorrhizal inoculation on growth and uptake of nutrients in *lactuca sativa* cv Syaho. Journal of Soil Management and Sustainable Production 4 (2): 49-68. (in Persian with English abstract).
19. Ehteshami, S. M. R., Hakimian, F., Yousefie Rad, M., and Chaichi, M. R. 2014. Effect of the integration in phosphate fertilizer different levels and phosphate solubilizing bacteria on forage quantitative and qualitative of two barley cultivars. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 102: 141-150. (in Persian with English abstract).
20. Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., and Soufizadeh, S. 2010. Effect of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology 2 (2): 292-301. (in Persian with English abstract).
21. Ganjeali, A., and Kafi, M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pakistan Journal of Botany 39 (5): 1523-1531.
22. Hajabbasi, M .A. 2001. Tillage Effects on Soil Compactness and Wheat Root Morphology. Journal of Agricultural Science and Technology 3: 67-77.
23. Jiriaie, M., Fateh, E., and Aynehband, A. 2014. The consequences of single and integrated application of Mycorrhiza and *Azospirillum* inoculants on yield and yield components of warm region wheat cultivars (*Triticum* spp.). Journal of Agroecology 16 (3): 520-528. (in Persian with English abstract).
24. Khalvati, M. A., Mozafar, A., and Schmidhalter, V. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart 7 (6): 706-712.
25. Khosravi, H., and Mahmoudi, H. 2013. Evaluation of effects of *Azotobacter* inoculation and manure on growth of rainfed wheat. Journal of Soil Management and Sustainable Production 3 (2): 205-219. (in Persian with English abstract).
26. Khosrojerdi, M., Shahsavani, Sh., Gholipor, M., and Asghari, H. R. 2013. Effect of rhizobium inoculation and mycorrhizal fungi on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer. Electronic Journal of Crop Production 6 (3): 71-87. (in Persian with English abstract).
27. Maghsoudi E., Ghalavand, A., and Aghaalikhani, M. 2014. Effect management strategies fertilizer nitrogen and biological on morphological traits, yield and quality traits corn (S.C. 704). Iranian Journal of Field Crops Research 12 (2): 273-382. (in Persian with English abstract).
28. Mahanta, D., Rai, R. K., Mishra, S. D., Raja, A., Purakayastha, T. J., and Varghese, E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research 166: 1-9.
29. Malik, A. U., Malghani, A. L., and Hus, F. 2012. Growth and yield response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to phosphobacterial inoculation. Russian Agricultural Sciences 38: 11-13.
30. Mertnese, T., and Hess, D. 2004. Yield increase in spring wheat inoculated with Azospirillium under greenhouse and field condition of a temperate region. Plant and Soil 82: 87-99.
31. Ministry of Agriculture- Jahad. Agricultural statistic. 2016-17.
32. Naseri, R., Soleymanifard, A., Mahmodian, L., and Nazrbegi, E. 2010. The effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agronomic traits of four rapeseed cultivars. *National* Congress of New Findings in Oilseed Crops Production 26-27Jun. (in Persian with English abstract).
33. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2016. Studying root morphological characteristics of seminal roots systems of durum and bread wheat cultivars. Journal of Crop Ecophysiology 10 (2): 477-492. (in Persian with English abstract).

34. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017a. Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. Journal of Soil Biology 5 (1): 49-67. (in Persian with English abstract).
35. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017b. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on some activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics of wheat under dry land conditions. Iranian Journal of Dryland Agriculture 6 (1): 1-34. (in Persian with English abstract).
36. Paras-Motlagh, B., Mahmoodi, S., Sayyar-Zahan, M. H., and Naghibzadeh, M. 2011. Effect of mycorrhiza fungi and phosorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*haseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Journal of Agroecology 3 (2): 233-244. (in Persian with English abstract).
37. Rahimi, A., Jamialahmadi, M., Khavazi, K., Sayyari-Zahan, M., and Yazdani, R. 2013. Effects of different pseudomonas flluoresence bacterium strains on yield, yield components and some traits of safflower. Journal of Plant Ecophysiology 5 (14), 1-16. (in Persian with English abstract).
38. Rodriguze, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biothecnology Advances 17: 319-339.
39. Rouzbeh, R., Daneshian, J., and Farahani, H. A. 2009. Super nitro plus influence on yield and yield components of two wheat cultivars under NPK fertilizer application. Journal of Plant Breeding and Crop Science 1: 293-297.
40. Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M., and Zahir, Z. A. 2008. Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Microbial Biotechnology 79: 147-155.
41. Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. 1sd edition. Jodhpur: agrobios, Indian, 456p.
42. Shoghi Kalkhoran, S., Ghalavand, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., and Akbari, P. 2010. Effect of nitrogen fertilizer and biofertilizer application on yield and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 12 (4) 467-481. (in Persian with English abstract).
43. Vessey, J. K., and Buss, T. J. 2002. Bacillus cereus UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes: Controlled-environment studies. Canadian Journal of Plant Science 82: 282-290.
44. Wu, B., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., and Wong, M. H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. A greenhouse trail. Geoderma 125 (1-2): 155-162.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 83-98

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۹۸-۸۳

Evaluation of Root and Grain Yield of Wheat Cultivars Affected by Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi under Dry land Conditions

R. Naseri[1*], M. Barary[1], M. J. Zarea[1], K. Khavazi[2], Z. Tahmasebi[1]

Received: 02-12-2017
Accepted: 10-06-2018

Introduction: Current estimates indicate that 25% of the world agricultural lands are affected by water stress. Iran, with an annual 228 mm of rainfall, is classified as a dry region in the word. Wheat is one of the main cereal crops, cultivated for human feeding. In order to increase crop yield per unit area, largely chemical fertilizers are used. The result of these activities in recent years has been the crisis of environmental pollution, especially water and soil pollution that threatens human society. Phosphorus is one of the limiting elements for crop production. It is essential for energy transfer, photosynthesis and other biochemical and genetic activities of plant. Biofertilizers have been used as source to improve plant nutrients in sustainable agriculture. Phosphorus Solubilizing Bacteria (PSB) plays an important role in phosphorus nutrition by enhancing its availability to plants through release from inorganic and organic soils phosphorus pools by solubilizing and mineralization. Mycorrhizal crops often have greater tolerance to drought than nonmycorrhizal crops. The use of arbuscular mycorrhizal fungi capable of forming symbiotic associations with most agricultural crops and has potential under such systems due to its higher binding capabilities and mineral nutrition. Therefore, the main of this study was to study the effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on root characteristics and grain yield in dryland wheat cultivars.

Materials and Methods: This experiment was carried out as factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station of Ilam University (46*28' N, 33*37 E; elevation 1174 m) and Sarableh Agricultural Research, Recources Center (34*46 N, 33*45 E; elevation 975 m) during growing season 2013-2014. Experiment factors consisted of two dry land cultivars (Keras Sablan and Saji) and fertilizer sources including of 1: without application of phosphorious chemical fertilizer, 2: 50 kg.ha^{-1} phosphorous chemical fertilizer, 3: *pseudomonas putida* (PSB), 4: *Glomus mosseae* (GM), 5: PSB+GM, 6:PSB+GM+25 kg.ha^{-1}phosphorous chemical fertilizer, 7: PSB+ 25 kg.ha^{-1} phosphorous chemical fertilizer and 8: GM+25 kg.ha^{-1}phosphorous chemical fertilizer. At flowering stage root traits such as root volume, root area, root diameter, root length density and root surface area density were studied and measured. At full maturity, agronomic traits such as spikes.m^{-2}, grains.spike^{-1}, 1000-grain weight, grain yield and biomass yield were recorded using a sample of ten random guarded plants from the middle ridges of each plot. The data were analyzed statistically by SAS program and the data means were compared by Duncan's multiple range test (DMRT).

Results and Discussion: Results indicated that interaction effect between cultivar× fertilizer sources had significant effect on root length total, root volume, root area, root diameter, root length density, root surface area density, spike.m^{-2}, grains.spike^{-1}, 1000-grain weight, grain yield and biomass yield. Using fertilizer sources had positive and significant effect on root traits and grain yield in two dryland wheat under dry land condition, so that Saji cultivar ×GM+25 kg.ha^{-1} had the highest root volume (4.6 cm^{3}), root area (70.9 cm^{-2}), root length density (0.158 cm root length.cm^{-3} soil), root surface area density (84.3 cm^{2}.cm^{-3}), spike.m^{-2} (257.5 spikes), grains.spike^{-1} (42.7 grains), 1000-grain weight (39.7 g), grain yield (3571.6 kg.ha^{-1}) and biomass yield (7840.6 kg.ha^{-1}) and the lowest root traits and grain yield belonged to Keras Sabalan×check treatment. There was

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
3- Professor, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: rahim.naseri@gmail.com)

significant different between cultivars to response of Using of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi, so that Saji cultivars had the best response to mycorrhizal fungi. Therefore with regard to cultivation of wheat is facing to drought and heat stress indicated that Saji cultivar and using of mycorrhizal fungi can be the best result under dry land conditions.

Conclusions: The results indicated phosphate solubilizing bacteria (PSB) and mycorrhizal fungi (GM) had positive effect on root system and grain yield, so that root traits and grain yield had the better status in presence of inoculation with GM. In fact PSB and GM could alleviate the partial of grain yield in presence of dry land farming. Recent studies indicated that symbiosis bio-fertilizers also improved soil physical and chemical traits and increaced organic matters content, root system and P available to coexistent plant.

Keywords: Fertilizer sources, Grain yield, Root area, Root volume, Root system